Инфракрасная фотолюминесценция в кремнии, облученном тяжелыми ионами высоких энергий

С.Г. Черкова¹, В.А. Володин^{1,2}, Г.К. Кривякин^{1,2}, В.А. Скуратов³

¹ ИФП СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13

² Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2

³ Объединенный институт ядерных исследований, 141980, Дубна, ул. Жолио-Кюри, 6
тел: +7 (383) 333-2470, факс: +7 (812) 247-1017, эл. почта: cherkova@isp.nsc.ru

DOI 10.34077/RCSP2021-107

Изучение оптических свойств кремния с целью создания излучателя на его основе остается актуальной задачей. Инженерия светоизлучающих дефектов является одним из возможных путей решения. Люминесцентные свойства дислокаций широко исследуются [1, 2]. В нашей работе образцы кремния были облучены тяжелыми ионами высокоэнергетичного Хе. Потери на ионизацию таких частиц вблизи поверхности достигают десятков кэВ/нм и вдоль траектории иона возможен локальный разогрев до температур, превышающих температуру плавления. В облученных тяжелыми ионами кристаллических Si и Ge исследователи не наблюдали треков и протяженных дефектов, независимо от уровня потерь на ионизацию [3, 4].

Образцы высокоомного кремния, выращенного методом безтигельной зонной плавки, а также КЭФ-4.5 облучались при комнатной температуре ионами $^{132}\text{Xe}^{26+}$ с энергией 167 МэВ в диапазоне флюенсов от $5 \cdot 10^{10}$ до 10^{13} см⁻² на циклотроне ИЦ-100 ЛЯР ОИЯИ (г. Дубна). Расчеты по программе SRIM (www.srim.org) показывают, что пробег ионов Хе составлял ~19.9 мкм. Потери на ионизацию в приповерхностном слое достигали 12.5 кэВ/нм. Отжиги проводились в атмосфере Ar при температуре 400 °С, 1 час. Оптические свойства контролировались методом спектроскопии фотолюминесценции (ФЛ). Возбуждение на длине волны 325 нм осуществлялось с помощью газового He-Cd лазера. Для исследования температурной зависимости ФЛ использовался гелиевый криостат с точностью установки температуры ± 0.5 К.

Сразу после имплантации в спектрах ФЛ при криогенных температурах наблюдалась широкая полоса в области 1150-1600 нм (1.1-0.77 эВ), с максимумом 1300-1400 нм. С ростом дозы облучения сигнал ФЛ падает и его максимум смещается в длинноволновую область спектра. Отжиг при температуре 400 °С в вакууме течение 1 часа приводил к многократному (до 35 раз) усилению сигнала ФЛ (рис. 1) и небольшому смещению максимума в сторону более коротких длин волн. На высокоомном материале сигнал оказался больше. На всех спектрах наблюдались также и узкие линии, которые в литературе связывают с ФЛ от мелких междоузельных кластеров: X (1.033 эВ), W (1.018 эВ), W' (1.0048 эВ), а также полосы R (0.901 эВ), связываемая {311} дефектами и C (0.79 эВ) (C-O комплексы). Аппроксимация спектров показала, что сигнал можно разложить на, так называемые, «дислокационные» пики D1-D4 (0.81–0.99 эВ) [1, 2]. Наличие дефектов дислокационного типа подтверждают снимки высокоразрешающей электронной микроскопии. Обсуждается роль сильной ионизации в процессах дефектообразования.

Рис.1. Спектры ФЛ (10 К, $\lambda_{\text{ex}}=325$ нм) слоев Si, облученных ионами Хе, дозами, см⁻²: 1- 0; 2- 5×10^{10} ; 3- 10^{11} ; 4- 3×10^{11} ; 5- 5×10^{11} ; 6- 2×10^{12} ; 7- 10^{13} после отжига 400 °С, 1ч.

Литература

- [1] Н.А. Соболев // ФТП. 2010. Т.44, вып.1. С.3-25.
- [2] L.I. Fedina, A.K. Gutakovskii, T.S. Shamirzaev // J. Appl. Phys. 2018. V.124. P.053106.
- [3] F. Studer, M. Hervieu, J.-M. Constantini, M. Toulemonde // Nucl. Instrum. Meth. B. 1997. V.122. P.449.
- [4] Ф.Ф. Комаров // УФН. 2003. Т.173. С.1287.